



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND  
  
DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑰ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 100 43 204 A 1

⑮ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 L 51/20  
H 01 L 51/40  
H 01 L 51/10

⑯ Aktenzeichen: 100 43 204.2  
⑯ Anmeldetag: 1. 9. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 4. 4. 2002

⑯ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑯ Erfinder:  
Bernds, Adolf, 91083 Baiersdorf, DE; Clemens, Wolfgang, Dr., 90617 Puschendorf, DE; Fix, Walter, Dr., 90762 Fürth, DE; Rost, Henning, Dr., 91056 Erlangen, DE

⑯ Entgegenhaltungen:

DE 198 51 703 A1  
WO 99 10 939 A2  
WO 97 18 944 A2

DRURY, C.J. et al.: "Low-cost al polymer integrated circuits" in "Applied Physics Letters", 73 (1998) 1, pp. 108-110;  
LIDZEY, D.G. et al.: "Photoprocessed and micro-patterned conjugated polymer LEDs" in "Synthetic Metals" 82 (1996), pp. 141-148;  
XIANG-YANG, Zheng et al.: "Electrochemical Patterning of the Surface of Insulators with Electrically Conductive Polymers" in "J.Electrochem.Soc.", 142 (1995) 12, pp. L226f.;  
KOBEL, W. et al.: "Generation of micropatterns in Poly(3-Methyl-Thiophene) films using micro-lithography: a first step in the design of an all-organic thin-film transistor" in "Synthetic Metals", 92 (1998), pp. 265-271;  
ANGELAPOULUS, M. and SHAW, J.M.: "In-Situ Radiation Induced Doping" in "Mol.Cryst.Liq-Cryst.", 189 (1990), pp. 221-225;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen  
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Organischer Feld-Effekt-Transistor, Verfahren zur Strukturierung eines OFETs und integrierte Schaltung

⑯ Die Erfindung betrifft einen organischen Feld-Effekt-Transistor, ein Verfahren zur Strukturierung eines OFETs und eine integrierte Schaltung mit verbesselter Strukturierung der Funktionspolymerschichten. Die Strukturierung wird durch Einrakeln des Funktionspolymers in eine Formschicht, in der zunächst durch Belichten Vertiefungen erzeugt wurden, erzielt.



7

DE 100 43 204 A 1

BEST AVAILABLE COPY

DE 100 43 204 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Organischen Feld-Effekt-Transistor, ein Verfahren zur Strukturierung eines OFETs und eine integrierte Schaltung mit verbesserter Strukturierung der Funktionspolymerschichten.

[0002] Organische integrierte Schaltkreise (integrated plastic circuits) auf der Basis von OFETs werden für mikro-elektronische Massenanwendungen und Wegwerf-Produkte wie Identifikations- und Produkt- "tags" gebraucht. Ein "tag" ist z. B. ein elektronischer Streifencode, wie er auf Waren angebracht wird oder auf Koffern. OFETs haben ein weites Einsatzgebiet als RFID-tags: radio frequency identification - tags, die nicht nur auf der Oberfläche angeordnet sein müssen. Bei OFETs für diese Anwendungen kann auf das excellente Betriebsverhalten der Silizium-Technologie verzichtet werden, aber dafür sollten niedrige Herstellungskosten und mechanische Flexibilität gewährleistet sein. Die Bauteile wie z. B. elektronische Strich-Kodierungen, sind typischerweise Einwegeprodukte und sind wirtschaftlich nur interessant, wenn sie in preiswerten Prozessen hergestellt werden.

[0003] Bis her wird, wegen der Herstellungskosten, nur die Leiterschicht des OFETs strukturiert. Die Strukturierung kann nur über einen zweistufigen Prozess ("Lithographie-methode" vgl dazu Applied Physics Letters 73(1), 1998, S. 108, 110 und Mol. Cryst. Liq. Cryst. 189, 1990, S. 221-225) mit zunächst vollflächiger Beschichtung und darauffolgender Strukturierung, die zudem materialspezifisch ist, be werkstellt werden. Mit "Materialspezifität" ist gemeint, dass der beschriebene Prozess mit den genannten photochemischen Komponenten einzig an dem leitfähigen organischen Material Polyanilin funktioniert. Ein anderes leitfähiges organisches Material, z. B. Polypyrrrol, lässt sich so nicht ohne weiteres auf diese Art strukturieren.

[0004] Die fehlende Strukturierung der anderen Schichten, wie zumindest die der halbleitenden und der isolierenden Schicht aus Funktionspolymeren (die polymer oder oligomer vorliegen können), führt zu einer deutlichen Leistungssenkung der erhaltenen OFETs, darauf wird aber trotzdem aus Kostengründen verzichtet. Die strukturierte Schicht kann mit anderen bekannten Verfahren (wie z. B. Drucken) nur so strukturiert werden, dass die Länge 1, die den Abstand zwischen Source und Drain Elektrode bezeichnet und damit ein Mass für die Leistungsdichte des OFETs darstellt zumindest 30 bis 50 µm beträgt. Angestrebt werden aber Längen 1 von unter 10 µm, so dass außer der aufwendigen Lithographie-methode momentan keine Strukturierungsmethode sinnvoll erscheint.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist daher ein kostengünstiges und massenfertigungsfähiges Verfahren zur Strukturierung von OFETs mit hoher Auflösung zur Verfügung zu stellen. Weiterhin ist Aufgabe der Erfindung, einen leistungsstärkeren, weil mit mehr strukturierten Schichten ausgestatteten sowie einen kompakteren OFET zu schaffen, der mit einem geringeren Abstand 1 herstellbar ist.

[0006] Gegenstand der Erfindung ist ein Organischer Feld-Effekt-Transistor (OFET), zumindest folgende Schichten auf einem Substrat umfassend:

- eine organische Halbleiterschicht zwischen und über zumindest einer Source- und zumindest einer Drain-Elektrode, die aus einem leitenden organischen Material sind,
- eine organische Isolationsschicht über der halbleitenden Schicht und
- eine organische Leiterschicht,

wobei die Leiterschicht und zumindest eine der beiden an-

deren Schichten strukturiert ist. Ausserdem ist Gegenstand der Erfindung ein Verfahren zur Strukturierung eines OFETs durch Rakeln von zumindest einem Funktionspolymer in eine Negativ-Form. Schließlich ist Gegenstand der Erfin- 5 dung eine integrierte Schaltung, die zumindest einen OFET, der zumindest eine strukturierte Leiterschicht und eine wei- tere strukturierte Schicht hat, umfasst.

[0007] Als Negativ-Form wird eine strukturierte Schicht oder ein Teil einer strukturierten Schicht bezeichnet, die Vertiefungen enthält, in die das Funktionspolymer, das z. B. eine Elektrode eines OFETs oder eine Halbleiter- oder eine Isolatorschicht bildet, durch Rakeln eingefüllt wird.

[0008] Die Länge 1 die den Abstand zwischen Source und Drain Elektrode beschreibt, kann dabei bis zur Größenordnung von  $\lambda$  (Wellenlänge) des eingestrahlten Lichts, wenn die Negativ-Form durch Bestrahlung strukturiert wird verkleinert werden. Bevorzugt ist ein OFET mit einer Länge 1 von kleiner 20 µm, insbesondere von kleiner 10 µm und ganz bevorzugt von 2 bis 5 µm oder kleiner.

[0009] Das Verfahren umfasst folgende Arbeitsschritte:

- a) auf einem Substrat oder einer unteren Schicht wird eine, ggf. vollflächige Formschicht, die nicht auf den Bereich, der strukturiert werden soll beschränkt sein muss, aufgebracht. Diese Formschicht ist nicht das Funktionspolymer (also halbleitende, leitende oder isolierende Schicht), sondern ein anderes organisches Material, das als Form oder Klischee für die leitende organische Elektrodenschicht dient. Dieses andere organische Material sollte isolierende Eigenschaften haben.
- b) die Formschicht erhält durch Belichten über eine Maske Vertiefungen, die den Strukturen entsprechen.
- c) in diese Vertiefungen wird dann das Funktionspolymer flüssig, als Lösung und/oder als Schmelze hineingekräkelt.

[0010] Die Negativ-Form der Struktur auf der Formschicht kann durch Belichten einer Photolackschicht auf dem Substrat oder einer unteren Schicht erzeugt werden. Das Material der Negativ-Form kann ein Photolack sein, der nach Belichten über eine Maske wie z. B. Schattenmaske oder eine andere bereits beschriebene Strukturierungsmethode und nachfolgendes Entwickeln Vertiefungen besitzt.

[0011] Dafür geeignete Lacke sind allesamt kommerziell erhältlich und die Methoden, sie z. B. durch Belichten zu strukturieren, sind literaturbekannt.

[0012] Der Vorteil der Rakel-Methode besteht darin, dass die schwierige Strukturierung von Funktionspolymeren durch die eingefahrene und bewährte Photolackmethode begünstigt wird. Dadurch kann auf einen reichen technischen Hintergrund zurückgegriffen werden und es können extrem feine Strukturen erzielt werden. Die Rakel-Methode ist zudem nicht materialspezifisch. Mit der Rakelmethode kann vielmehr Polyanilin, aber auch jedes andere leitfähige organische Material, z. B. Polypyrrrol, zur Herstellung von Elektroden eingesetzt werden. Ebenso kann damit jedes andere organische Material wie z. B. Polythiophen als Halbleiter und/oder Polyvinylphenol als Isolator strukturiert werden, also der gesamte OFET.

[0013] Man kann im Mehrschichtaufbau eines OFETs eine oder mehrere Schichten mit der Rakel-Methode herstellen. Bei mehreren Schichten wird die Photolacktechnik zur Bildung der Negativ-Form bevorzugt, weil z. B. das Imprintverfahren die Formschicht nicht über die ganze Schichtdicke durchstrukturiert, sondern in den Vertiefungen einen bestimmten Boden stecken lässt, der den elektrischen Kontakt zu der darunter liegenden Schicht verhindert. Für die erste Schicht, z. B. Source-Drain-Elektroden, spielt das

keine Rolle, aber für alle weiteren Schichten.

[0014] Nach einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Negativ-Form nach erfolgter Aushärtung des Funktionspolymers entfernt, so dass ein eventuell durch Verdunstung des Lösungsmittels oder Schrumpfung entstandener Höhenunterschied zwischen Funktionspolymer und Negativ-Form vermindert wird.

[0015] Ein anderer Ansatz, einen gegebenenfalls entstandenen Höhenunterschied zwischen Negativ-Form und Funktionspolymer zu vermeiden, liegt in der Wiederholung des Einrakelvorgangs, wodurch das Volumen der Negativ-Form einfach weiter aufgefüllt wird.

[0016] In der Regel kann man die Funktionspolymere weitgehend in ihrer optimalen Konsistenz belassen. So besitzt z. B. Polyanilin als leitfähiges organisches Material bei optimaler Leitfähigkeit eine bestimmte Viskosität. Soll Polyanilin gedruckt werden, so muss seine Viskosität auf einen der Druckmethode angepassten Wert eingestellt werden. Das bedeutet meistens Einbusse der Leitfähigkeit. Für das Rakeln ist die Viskositätsspanne ungleich grösser als für das Drucken, so dass in aller Regel keine Viskositätsänderungen am organischen Material vorgenommen werden müssen.

[0017] Schließlich ist ein Vorteil der Rakelmethode die Fähigkeit zu dicken Schichten. So ist z. b. die Leitfähigkeit von 1 µm dicken Polmterelektronen effektiv höher als bei üblicherweise 0,2 µm Schichtdicke. Ein OFET mit einer Schichtdicke im Bereich von bis zu 1 µm, insbesondere im Bereich von 0,3 bis 0,7 µm ist deshalb vorteilhaft.

[0018] Nach einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird es kontinuierlich betrieben, das heisst ein Band mit der Formschicht wird nacheinander an verschiedenen Stationen vorbeigeführt wo zuerst über z. B. Belichtung mit einer Maske Vertiefungen in der Formschicht gebildet werden, die dann im weiteren Verlauf zumindest einmal mit Funktionspolymer über eine Rakelstation gefüllt werden.

[0019] Als "Funktionspolymer" wird hier jedes organische, metallorganische und/oder anorganische Material bezeichnet, das funktionell am Aufbau eines OFET und/oder einer integrierten Schaltung aus mehreren OFETs beteiligt ist. Dazu zählen beispielhaft die leitende Komponente (z. B. Polyanilin), das eine Elektrode bildet, die halbleitende Komponente, die die Schicht zwischen den Elektroden bildet und die isolierende Komponente. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Bezeichnung "Funktionspolymer" demnach auch nicht polymere Komponenten, wie z. B. oligomere Verbindungen, umfasst.

[0020] Als "organisch" wird hier kurz alles, was "auf organischem Material basiert" bezeichnet, wobei der Begriff "organisches Material" alle Arten von organischen, metallorganischen und/oder anorganischen Kunststoffen, die im Englischen z. B. mit "plastics" bezeichnet werden, umfasst. Es handelt sich um alle Arten von Stoffen mit Ausnahme der klassischen Halbleiter (Germanium, Silizium) und der typischen metallischen Leiter. Eine Beschränkung im dogmatischen Sinn auf organisches Material als Kohlenstoff-enthaltendes Material ist demnach nicht vorgesehen, vielmehr ist auch an den breiten Einsatz von z. B. Siliconen gedacht. Weiterhin soll der Term keiner Beschränkung auf polymere oder oligomere Materialien unterliegen, sondern es ist durchaus auch der Einsatz von "small molecules" denkbar.

[0021] Als "untere Schicht" wird hier jede Schicht eines OFETs bezeichnet, auf die eine zu strukturierende Schicht aufgebracht wird. Die Formschicht aus dem Formpolymer schliesst an die "untere Schicht" oder das Substrat an. Das Formpolymer wird hier durch die Bezeichnung "polymer" auch nicht auf einen polymeren Aggregatzustand festgelegt, vielmehr kann es sich bei dieser Substanz auch um alle praktisch einsetzbaren Kunststoffe zur Ausbildung einer

Negativ-Form handeln.

[0022] Im folgenden wird eine Ausführungsform des Verfahrens noch anhand von schematischen Figuren näher erläutert.

[0023] Fig. 1 zeigt das Substrat oder eine untere Schicht 2 auf die die Formschicht der Negativ-Form 1, beispielsweise aus einem Formpolymer wie einem Photolack, vollflächig aufgebracht ist. Die Formschicht 1 wird, wie in Fig. 2 gezeigt, über eine Schattenmaske 4 mit, beispielsweise UV-Strahlung 3, belichtet. Dadurch entstehen Vertiefungen 8 in der Formschicht 1, wie sie in Fig. 3 gezeigt sind. In diese Vertiefungen wird dann das Funktionspolymer 7 mit einem Rakel 6 hineingerakelt (Fig. 4 und 5). In Fig. 6 erkennt man, wie im fertigen OFET das Funktionspolymer 7 die Vertiefungen 8 der Formschicht 1 ausfüllt.

#### Patentansprüche

1. Organischer Feld-Effekt-Transistor (OFET), zumindest folgende Schichten auf einem Substrat umfassend: eine organische Halbleiterschicht zwischen und über zumindest einer Source- und zumindest einer Drain-Elektrode, die aus einem leitenden Funktionspolymer sind,
- eine organische Isolationsschicht über der halbleitenden Schicht und
- eine organische Leiterschicht, wobei die Leiterschicht und zumindest eine der beiden anderen Schichten strukturiert ist.
2. OFET nach Anspruch 1 mit einem Abstand 1 zwischen Source und Drain Elektrode von kleiner 20 µm, insbesondere von kleiner 10 µm und ganz bevorzugt von 2 bis 5 µm.
3. OFET nach einem der Ansprüche 1 oder 2, der eine Elektrode mit einer Schichtdicke von 1 µm umfasst.
4. Integrierte Schaltung, die zumindest einen OFET, der zumindest eine strukturierte Leiterschicht und eine weitere strukturierte Schicht hat, umfasst.
5. Verfahren zur Strukturierung eines OFETs durch Rakeln von zumindest einem Funktionspolymer in eine Negativ-Form.
6. Verfahren nach Anspruch 5, folgende Arbeitsschritte umfassend:

- a) auf einem Substrat oder einer unteren Schicht wird eine Formschicht für eine Negativform aufgebracht,
- b) diese Formschicht erhält Vertiefungen, die den Negativen der späteren Strukturen entsprechen und
- c) in diese Vertiefungen wird dann das Funktionspolymer hineingerakelt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, bei dem die Formschicht nach der Strukturierung entfernt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem zumindest zweimal das Funktionspolymer in die Vertiefungen der Formschicht eingerakelt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, bei dem die Vertiefungen in der Formschicht durch Bestrahlung mit einer Maske erzeugt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, das als kontinuierliches Verfahren mit einem durchlaufenen Band durchgeführt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

